

Rancang Bangun *Exhaust System* pada Mobil Minimalis Roda Tiga

Ahyad Bagas Nur Hidayatulloh^{1*}, Ali Imron², Tri Andi Setiawan³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia^{1,3}

Program Studi Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.²
 E-mail: ahyadbagas@gmail.com^{1*}

Abstract – One of the three-wheeled vehicles that is currently being developed is a three-wheeled car. In addition to engine selection, in the process of developing a minimalist three-wheeled car will not be separated from the planning of the exhaust system. In the planning of exhaust system, it is necessary to calculate the dimensions of the exhaust system pipeline to get the dimensions that correspond to the cylinder capacity of the engine that applied to the minimalist three wheel car. The application of design concept helps design the exhaust system to be able its needed. The design concept is carried out by identifying plans for laying the driver's seat, ground clearance, and fuel lines. The design of the exhaust system is carried out by CFD (Computational Fluid Dynamics) to analysis the function of the exhaust system by knowing the back pressure that is suitable for the minimalist three wheeled car. Analysis of design concepts can be used as a reference in determining the dimensions of the pipe exhaust system which in turn can be a product of the exhaust system for a minimalist three-wheel car.

Keywords: alur exhaust system, exhaust system, back pressure, diameter pipa exhaust system

1. PENDAHULUAN

Salah satu kendaraan roda tiga yang saat ini sedang dikembangkan adalah mobil roda tiga. Mobil minimalis roda tiga merupakan mobil yang hampir sama dengan mobil pada umumnya tetapi memiliki ukuran dan kapasitas yang lebih kecil. Mobil roda tiga tersebut mampu menampung dua sampai tiga penumpang. Mobil minimalis roda tiga ini akan menjadi pilihan alternatif bagi masyarakat untuk memaksimalkan fungsi dari mobil yang mereka kendarai. Selain pemilihan mesin, *exhaust system* atau yang biasa disebut saluran gas buang juga merupakan salah satu bagian vital dari sebuah kendaraan bermotor. Salah satu fungsi dari saluran gas buang adalah sebagai peredam suara yang dikeluarkan dari mesin. Perencanaan pemilihan saluran gas buang juga harus diperhitungkan untuk mengetahui apakah gas buang yang akan dikeluarkan aman. Gas buang tersebut akan disalurkan melalui knalpot ke udara luar.

Penelitian ini dimaksudkan untuk merancang saluran gas buang yang aman dan sesuai dengan mesin yang diaplikasikan pada mobil minimalis roda tiga. Saluran gas buang harus dipertimbangkan karena mengingat gas yang akan dibuang adalah gas hasil pembakaran bahan bakar dari mesin. Jadi, desain *exhaust system* perlu dilakukan perancangan agar gas hasil pembakaran mesin disalurkan ketempat yang aman bagi pengguna.

2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan tabel daftar kebutuhan untuk mengetahui kriteria-kriteria yang dibutuhkan untuk merancang konsep *exhaust system*. Konsep *exhaust system* dirancang sebanyak 2 konsep. Pemilihan *exhaust system* dilakukan menggunakan perbandingan konsep. Setelah didapatkan konsep terpilih, dilakukan perhitungan diameter dalam saluran *exhaust system* sekaligus analisa CFD (Computational Fluid Dynamic) untuk mengetahui besar *back pressure* yang dihasilkan oleh saluran *exhaust system*. Setelah itu, dibuat *detail drawing* dari saluran *exhaust system* konsep terpilih, dan dilakukan proses fabrikasi sekaligus pengujian kebisingan untuk mengetahui efek dari *silencer* terpilih.

Pemilihan Material

Menurut Rajadurai, dkk (2014) Pipa pada *exhaust system* harus memberikan keuletan yang baik, dapat dilas, ketahanan terhadap panas yang baik, dan ketahanan terhadap korosi yang baik. Material standar yang biasa digunakan adalah SUH 409 L, SUS 430, SUS 436LM, SUS 439L, SUS 304, SUS 441 L, SKTM 11A, STZC30, STZC 52 dan SUS 436L. Berikut adalah spesifikasi material yang dijelaskan pada tabel 1,2, dan 3.

Tabel 1: Komposisi material

Komposisi material (%)							
Material	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	Ti
SUS 436 LM	0.01	0.06	0.09	18.18	0.89	0.30	0.29
SUS 439 L	0.02	0.25	0.65	17.13	-	0.28	0.36
SUS 304	0.04	1.59	0.34	19.73	0.11	9.18	0.01
SKTM 11 A	0.09	0.56	0.13	0.11	0.06	0.11	-

Tabel 2: Service Temperature

Material	Service Temperature (C°)
SUS 436 LM	806
SUS 439 L	927
SUS 430	870
SUS 439 L	927
SUS 441 L	950
SUS 304	925

Tabel 3: Kekuatan Material

Mechanical Properties for Steel				
Material	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)	Hardness (HV)
SUS 439 L	260	415	36	165
SUS 304	345	605	55	164
SUS 409 L	263	427	35	134
SUS 441 L	270	480	38	166

Ukuran Leher Saluran Exhaust System

Pemilihan diameter pipa pada *exhaust system* diperlukan karena sangat berpengaruh terhadap gas buang yang terdorong. Oleh karena itu, pemilihan ukuran pipa pada *exhaust system* perlu dilakukan perhitungan kombinasi antara letak mesin, intake manifold, karburator. Selain itu, perlu dilakukan penyesuaian terhadap *header*, *resonator*, serta *muffler*. Pemilihan pipa dengan lekukan yang baik dan bulat juga dilakukan agar sisa gas buang dapat mengalir lancar. Berikut adalah rumus untuk menentukan diameter dan panjang leher knalpot yang sesuai dengan kapasitas mesin yang ditunjukkan pada persamaan 1, 2, dan 3.

$$P = \frac{850 \times ED}{rpm} - 3$$

Dimana

P = panjang pipa knalpot (inch)

ED = 180° ditambah dengan besar derajat terbukanya klep buang sebelum TMB.

rpm = kecepatan mesin ketika *exhaust* disetel.

$$\text{Kapasitas Silinder} = 0,785D^2 S$$

Dimana

D = Diameter piston (cm)

S = Panjang langkah kerja piston (cm)

$$ID = \sqrt{\left(\frac{CC}{((P+3) \times 25)} \times 2,1\right)}$$

Dimana

ID = diameter internal pipa (inch)

CC = kapasitas silinder

P = panjang knalpot (inch)

Pengaruh Dimensi Exhaust System

Menurut Gunawan, (2014) Dimensi dari pipa dan *silencer* berpengaruh pada kemampuan *exhaust system* dalam meredam suara. Hal tersebut dapat dilihat pada persamaan 4 dan 5.

$$Lw = 95 + 5 \log_{10} N_i - \frac{L_{in}}{1.8}$$

Dimana :

Lw = Sound Power Level (dB)

N_i = Daya Mesin (kW)

L_{in} = Panjang Pipa (m)

$$TL = 10 \log_{10} \left[1 + 0.25 \left[\frac{Sc}{Se} - \frac{Se}{Sc} \right]^2 \sin^2 \left[\frac{2 \pi Lc}{\gamma} \right] \right]$$

Dimana :

TL = Transmission Loss (dB)

Sc = Luas Penampang Pipa (m²)

Se = Luas Penampang Tabung *Silencer* (m²)

Computational Fluid Dynamics

Menurut Soemardi, dkk (2003) Data yang digunakan dalam analisis CFD aliran gas buang dapat diasumsikan dengan udara SI (Sistem Internasional). Aliran tersebut memiliki spesifikasi :

1. Kecepatan aliran = 20,141 m/s
2. Temperatur gas = 923 K (1200°F)
3. Tekanan Referensi = 101350 Pa
4. Densitas = 0,457 kg/m³

Perwujudan Desain dan Rancangan Komponen

Menurut Batan, (2012) “Bagian-bagian atau komponen-komponen yang pada langkah sebelumnya belum ada dilengkapi pada langkah ini, kegiatan dari langkah ini disebut sebagai perwujudan rancangan, tujuannya adalah untuk mengetahui wujud sebuah produk dalam sebuah gambar susunan luaran dari perwujudan rancangan adalah sebuah gambar susunan produk yang dilengkapi dengan cara kerja produk.” Jadi, sebelum menjadikan sebuah produk, perlu adanya *detail drawing* untuk memperjelas bagian-bagian komponen yang masih belum ada di konsep produk.

(1)

Pengujian Kebisingan

Pengujian kebisingan adalah pengujian yang dilakukan untuk mengukur besar kebisingan pada suatu sistem. Pengujian ini perlu dilakukan untuk mengetahui apakah suatu sistem memiliki besar kebisingan dibawah atau diatas standar yang telah ditentukan. Standar kebisingan dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4: Standar Kebisingan

Kategori	L Max (dB)
Sepeda Motor	80 cc
	85
	80 < 175 cc
	90
	> 175 cc
	90

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut adalah tabel perbandingan konsep 1 dengan konsep 2.

Tabel 5: Perbandingan konsep 1 dan 2

Konsep 1	Konsep 2
Saluran <i>exhaust system</i> disalurkan dibagian kanan mesin	Saluran <i>exhaust system</i> disalurkan dibagian bawah mesin
Menggunakan jenis sambungan <i>full system</i>	Menggunakan jenis sambungan <i>slip on</i>
Menggunakan <i>absorbitive muffler</i>	Menggunakan <i>reactive muffler</i>
Menggunakan material <i>stainless steel 201</i>	Menggunakan material <i>stainless steel 201</i>

Berikut adalah tabel perbandingan konsep untuk *exhaust system* untuk mobil minimalis roda tiga.

Tabel 6: Parameter Pembanding Konsep Exhaust System

Kriteria Seleksi	Konsep 1	Konsep 2
Fungsional	-	+
Keamanan	-	+
Perawatan	-	+
Manufaktur	+	+
Ekonomi	+	-
Jumlah +	2	4
Jumlah -	3	1

Dapat disimpulkan bahwa konsep yang sesuai untuk diaplikasikan pada mobil minimalis roda tiga adalah konsep 2.

Ukuran Leher Saluran Exhaust System

Dalam tahap ini dilakukan analisa CFD (*Computational Fluid Dynamic*) untuk mengetahui pengaruh dari turbulensi yang terjadi didalam pipa *exhaust system* yaitu besar tekanan balik dari desain konsep terpilih. Karena panjang dari leher pipa *exhaust system* dari konsep terpilih mempunyai panjang 300 mm, maka hanya dilakukan perhitungan diameter.

$$ID = \sqrt{\left(\frac{CC}{(P+3) \times 25}\right) \times 2,1}$$

$$ID = \sqrt{\left(\frac{223,1}{(11,81+3) \times 25}\right) \times 2,1}$$

$$ID = \sqrt{\left(\frac{223,1}{(14,81) \times 25}\right) \times 2,1}$$

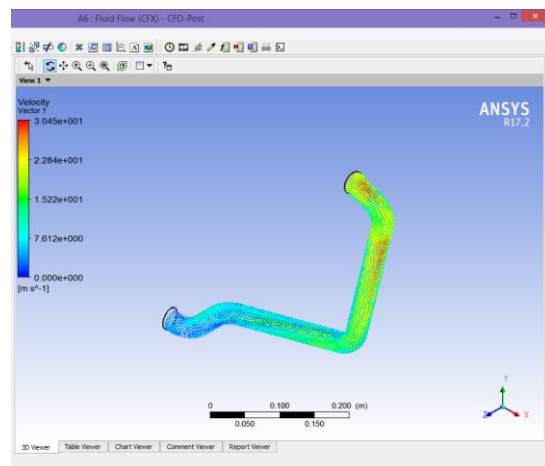
$$ID = \sqrt{\left(\frac{223,1}{370,25}\right) \times 2,1}$$

$$ID = \sqrt{(0,60 \times 2,1)}$$

$$ID = \sqrt{1,26}$$

$$ID = 1,12 \text{ inch (28,448 mm)}$$

Karena dipasaran tidak terdapat pipa dengan ukuran 28,448 mm, terpilih pipa dengan ukuran diameter internal 1 ¼ inch atau 31,75 mm dengan tebal 1,5 mm. Untuk mengetahui pengaruh dari diameter dan bentuk dari aliran *exhaust system*, dilakukan analisa CFD. Berikut adalah hasil dari analisa CFD dengan diameter internal 28,448 mm dan 31,75 mm.



Gambar 1. analisa CFD

Setelah dilakukan *meshing* dan pemberian nilai pada variabel-variabel yang dibutuhkan didapatkan hasil *back pressure* pada masing-masing pipa *exhaust system*. Untuk pipa dengan ukuran diameter dalam 28,448 mm didapatkan *back pressure* sebesar 79,8902 Pa. Sedangkan untuk pipa dengan ukuran diameter dalam 31,75 mm didapatkan *back pressure* sebesar 71,5427 Pa. Jadi, selisih besar *back pressure* antara pipa dengan diameter dalam 28,448 mm dengan 31,75 mm adalah sebesar 8,3475 Pa atau sebesar 11,67%.

Pengaruh Pipa dan Silencer Terpilih

Untuk mengetahui pengaruh dari pipa dan *silencer* yang terpilih, perlu diketahui kebisingan dari mesin. Berikut adalah besar kebisingan yang keluar dari mesin.

Sound power level

$$L_w = 95 + 5 \log_{10} N_i - \frac{\ln}{1,8}$$

Dimana :

L_w = Sound Power Level (dB)

N_i = Daya Mesin (kW)

L_{in} = Panjang Pipa (m)

Diketahui :

$N_i = 13,97$ kW

$L_{in} = 0,75$ m

$$L_w = 95 + 5 \log_{10} N_i - \frac{\ln}{1,8}$$

$$= 95 + 5 \log_{10} 13,97 - \frac{0,75}{1,8}$$

$$= 95 + (5 \times 1,145) - 0,42$$

$$= 100,305 \text{ dB}$$

Transmission Loss

$$TL = 10 \log_{10} \left[1 + 0.25 \left[\frac{S_c}{S_e} - \frac{S_e}{S_c} \right]^2 \sin^2 \left[\frac{2 \pi L_c}{\gamma} \right] \right]$$

Dimana :

TL = Transmission Loss (dB)

S_c = Luas Penampang Pipa (m²)

S_e = Luas Penampang Tabung Silencer (m²)

L_c = Panjang Pipa (m)

Diketahui :

$S_c = 0,0748$ m²

$S_e = 0,0675$ m²

$L_c = 0,75$ m

$V = 20,141$ m/s

$F = (\text{rpm} \times \text{jumlah silinder})/120$

$= 6000/120$

$= 50$ Hz

$\gamma = V/f$

$= 20,141/50$

$= 0,4$ m

$$TL = 10 \log_{10} \left[1 + 0.25 \left[\frac{S_c}{S_e} - \frac{S_e}{S_c} \right]^2 \sin^2 \left[\frac{2 \pi L_c}{\gamma} \right] \right]$$

$$TL = 10 \log_{10} \left[1 + 0.25 \left[\frac{0,0748}{0,0675} - \frac{0,0675}{0,0748} \right]^2 \sin^2 \left[\frac{2 \times 3,14 \times 0,75}{0,4} \right] \right]$$

$$TL = 10 \log_{10} [1 + 0.25 [1,11 - 0,90]^2 \sin^2 [11,78]]$$

$$TL = 10 \log_{10} [1 + 0.25 [0,0441] [0,04]]$$

$$TL = 10 \log_{10} [1,000441]$$

$$TL = 0,001915 \text{ dB}$$

Hasil Pengujian Kebisingan

Tabel 7: Hasil Pengujian Kebisingan

Kebisingan <i>Exhaust system</i> konsep terpilih									
Titik	Pengukuran pertama (dB)		Pengukuran kedua (dB)		Pengukuran ketiga (dB)		Pengukuran keempat (dB)		Rata-rata Total (dB)
	Gigi kedua	Gigi ketiga	Gigi kedua	Gigi ketiga	Gigi kedua	Gigi ketiga	Gigi kedua	Gigi ketiga	
Titik Pertama (1 m x 2,5 m)	93,6	93,4	93,7	94,1	93,2	93,6	93,4	94	94
Rata-rata	93,5		93,9		93,4		93,7		
Titik Kedua (1 m x 3 m)	92,4	92,6	92,9	92,9	92,6	92,8	92,8	92,2	93
Rata-rata	92,5		92,9		92,7		92,5		
Titik Ketiga (1 m x 4,5 m)	88,5	89,3	89,1	89,1	89,1	89,3	89,1	89,5	89
Rata-rata	88,9		89,1		89,3		89,3		

4. KESIMPULAN

Perhitungan ukuran diameter dalam saluran *exhaust system* yaitu dengan mengetahui besar kapasitas silinder mesin yang digunakan pada mobil minimalis roda tiga dan panjang leher saluran *exhaust system* dari konsep terpilih, dan didapatkan besar diameter dalam sebesar 28,448 mm dan didapatkan diameter 31,75 mm untuk menyesuaikan dengan produk yang ada di pasaran. Alur saluran *exhaust system* yang aman dan sesuai dengan peletakan mesin dari mobil minimalis roda tiga adalah dengan menyalurkan pipa ke bagian bawah mesin, lalu diarahkan menuju bagian kanan mesin sebagai peletakan *silencer*. Cara membuat saluran *exhaust system* pada mobil minimalis roda tiga adalah dengan membuat *detail drawing* terlebih dahulu, dimana terdapat bentangan untuk mempermudah proses pembuatan, selanjutnya dilakukan penyesuaian terhadap mobil minimalis roda tiga dengan dilakukan *tag welding* pada lekukan pipa, jika sesuai, maka dilakukan penyambungan dengan pengelasan yang dibantu menggunakan *router*, dan pemasangan dilakukan pengikatan *flange* pada mesin dengan dibantu menggunakan mur.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bell, A.G. (1998). Four-Stroke Performance Tuning Second Edition. Haynes Publishing
- [2] Gunawan, T. (2014). Perancangan Knalpot. Universitas Sumatera Utara.
- [3] Rajadurai, S., dkk, (2014). *Materials for Automotive Exhaust System*. International Journal of Recent Development in Engineering and Technology, (ISSN 2347-6435(Online) Volume 2, Issue 3, March 2014).

- [4] Sanata, A. (2011). *Pengaruh Diameter Pipa Saluran Gas Buang Tipe Straight Throw Muffler Terhadap Unjuk Kerja Motor Bensin Empat Langkah.*

